

Pengelolaan Lansekap Lahan Bekas Tambang: Pemulihan Lahan dengan Pemanfaatan Sumberdaya Lokal (*In-Situ*)

Management of Mined Land Landscape: Land Rehabilitation with Utilization of Local Resources (In-Situ)

Deddy Erfandi

Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Kampus Penelitian Pertanian, Cimanggu, Bogor 16114. E-mail: deddyerfandi@yahoo.co.id

Diterima 30 Mei 2017; Direview 13 Juni 2017; Disetujui dimuat 23 Juli 2017

Abstrak. Umumnya lahan bekas tambang merupakan areal yang memiliki lansekap tidak beraturan, seperti terbentuknya lubang bekas tambang (*void*) dan bukit yang terpotong. Dengan berubahnya topografi, fisiografi dan morfologi lahan menyebabkan tanah tidak berstruktur dan tidak berprofil. Pada lapisan atas terdapat limbah sisa bahan tambang (*overburden*), ada yang berbentuk batuan atau pasir (*tailing*). Selain itu limbah tersebut membentuk air asam tambang dan mengandung logam berat. Bahan sisa tambang memiliki kandungan bahan organik dan kelembaban tanah yang sangat rendah, serta mudah padat. Lapisan tanah atas pada lahan bekas tambang sangat heterogen dan memiliki berat isi tinggi, bersifat toksik, dan populasi mikroba tanah rendah. Hara makro umumnya tidak tersedia bagi tanaman sehingga tanaman tidak tumbuh dan berproduksi. Makalah ini membahas inovasi teknologi pengelolaan lansekap lahan bekas tambang dengan memanfaatkan sumberdaya lokal yang bersifat *in-situ*. Pengelolaan lansekap pada lahan bekas tambang tidak terlepas dari tindakan konservasi tanah, karena selain memperbaiki tanah untuk media tumbuh tanaman, juga mengurangi dampak negatif terhadap erosi dan aliran permukaan. Salah satu pendekatan dalam pengelolaan lansekap adalah meningkatkan kualitas tanah yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Pencegahan degradasi lahan dan membangun sumber bahan organik *in-situ*, melalui rotasi tanaman, sistem pengolahan tanah, penggunaan mulsa tanaman, tanaman penutup tanah dan pertanaman lorong. Pemanfaatan pembenah tanah yang berasal dari sumberdaya lokal menjadi penting dalam rangka meningkatkan kualitas lahan bekas tambang. Dengan pengelolaan lansekap melalui pemanfaatan bahan organik *in-situ* dan konservasi tanah diharapkan lahan bekas tambang mampu memberikan dampak positif terhadap lingkungan, seperti mengurangi luasan lahan kritis dan sebagai alternatif cadangan lahan pertanian. Namun logam berat perlu menjadi perhatian bila lahan bekas tambang akan dijadikan lahan pertanian atau lahan pengembalaan.

Kata kunci: Bahan Organik / Pemulihan / Lansekap / Lahan Bekas Tambang

Abstract. Generally ex-mining land is an area that has irregular landscaping, such as the formation of mine holes (*voids*) and cut hills. With the changing topography, physiography and land morphology cause unstructured and unprofitable land. In the upper layers, there are various waste mined materials (*overburden*) in the form of gravel or sand (*tailing*). In addition, acid water that contain heavy metals may also be found. Mining materials have very low organic and soil moisture content, and are easily compacted. The top soil layer on the mined land is highly heterogeneous, high soil bulk density, toxic, and very low present of microbial activities. Macro nutrients mostly are not available for plants uptake causing plants fail to grow and produce. This paper discusses the technological innovation of landscape management of ex-mining land by utilizing in-situ local resources. The landscape management on ex-mining land is inseparable from soil conservation measures which the aim to improve the soil conditions for plant growth, it also reduces negative impacts of soil erosion and surface flow. One approach to landscape management is to improve the quality of land to make it environmentally friendly and sustainable. Prevention of land degradation and building of in-situ organic material sources can be achieved through crop rotation, soil tillage, plant mulching, cover crops and alley cropping practices. Utilization of soil conditioners derived from local resources become important in order to improve the quality of former mining land. With proper management of ex-mine landscape through utilization of in-situ organic matters and soil conservation, it is expected that the ex-mining land can have a positive impact on the environment, such as reducing the area of critical land and as an alternative agricultural land reserves. However, heavy metals should be of concern if the land will be used as agricultural land or grazing land.

Keywords: Organic Matter / Rehabilitation / Landscape / Mined Land

PENDAHULUAN

Kebutuhan lahan semakin bertambah dengan meningkatnya populasi penduduk. Begitu juga dengan permasalahan lahan yang

semakin bertambah dengan semakin intensifnya pemanfaatan lahan. Dalam mendukung kegiatan pembangunan, banyak lahan yang menjadi terlantar, misalnya untuk mendukung kegiatan penambangan. Sebelum dapat dimanfaatkan kembali untuk kegiatan

lain seperti untuk kegiatan pertanian, lahan bekas tambang memerlukan upaya pemulihan terlebih dahulu, karena lahan bekas tambang termasuk dalam kategori terdegradasi berat. Tanpa usaha rehabilitasi dan reklamasi tanaman sulit beradaptasi apalagi memproduksi secara optimal. Dampak negatif penurunan kualitas lahan akibat kegiatan penambangan menjadi isu penting saat ini, di tengah isu ketersediaan lahan termasuk untuk pengembangan pertanian yang sudah semakin terbatas. Saat ini pemerintah sedang memacu peningkatan produktivitas pertanian khususnya untuk mendukung dan mempertahankan swasembada pangan. Sehingga optimalisasi pemanfaatan lahan terus dilakukan, termasuk pada areal bekas tambang. Namun demikian, dari segi sifat fisik, kimia dan biologi tanah, lahan bekas tambang tidak sesuai untuk pengembangan komoditas pertanian terutama tanaman pangan (Ghose 2004).

Lebih dari 60% kegiatan penambangan dilakukan dengan cara terbuka (*open-pit-mining*). Dengan eksploitasi lahan yang intensif menyebabkan permukaan lahan (*lansekap*) menjadi tidak beraturan. Topografi, fisiografi dan morfologi lahan menjadi berubah dengan berubahnya bentang alam, seperti terbentuknya lubang bekas tambang (*void*), dan bukit menjadi terpotong. Limbah sisa hasil tambang yang berada dipermukaan lahan seperti batuan sisa bahan tambang (*overburden*), sisa bahan tambang yang berbentuk pasir (*tailing*) dan air asam tambang serta limbah batuan yang mengandung logam berat merupakan factor pembatas pemanfaatan lahan bekas tambang untuk pengembangan pertanian. Vegetasi yang rusak, tanah lapisan atas (*top soil*) hilang dan tanah tidak berprofil menyebabkan populasi dan aktivitas mikroba juga menjadi terganggu (Kundu dan Ghose 1997). Dengan terjadinya penurunan kualitas tanah yang demikian drastic menyebabkan tanah menjadi tidak subur dan sulit untuk dibudidayakan (Ghose 2004). Jika tidak ditangani dengan baik, dapat berkontribusi terhadap bertambah luasnya lahan terlantar dan kritis. Kerusakan lingkungan yang dihadapi selain tanah, juga terhadap perairan dan badan air, flora dan fauna, serta pencemaran udara (US-EPA 1995; Wong 2003; Sheoran *et al.* 2008).

Pengelolaan lansekap pada lahan bekas tambang tidak terlepas dari tindakan konservasi tanah. Hal ini karena selain bertujuan untuk mencegah erosi dan aliran permukaan, juga memulihkan dan meningkatkan kualitas tanah. Salah satu pendekatan dalam pemulihan kualitas lahan dan pencegahan degradasi lahan adalah

dengan membangun sumber bahan organik *in-situ*, seperti melalui rotasi tanaman, pengembalian sisa tanaman, penggunaan mulsa tanaman, tanaman penutup tanah, dan tanaman pagar.

KONDISI LAHAN BEKAS TAMBANG

Tanah Lapisan Atas (*Top Soil*) dan Erosi Tanah

Penurunan kualitas tanah lapisan atas (*top soil*) pada lahan bekas tambang ditandai dengan rusaknya struktur tanah, erosi dipercepat, pencucian yang berlebihan, pemadatan tanah, penurunan pH tanah, akumulasi logam berat dalam tanah, penipisan bahan organik, penurunan hara tanaman, penurunan kapasitas tukar kation, penurunan aktivitas mikroba (Mensah 2015). Peranan tanah lapisan atas sangat penting terutama untuk menutupi lapisan substrat yang relatif buruk, seperti sisa-sisa batuan bahan tambang (*overburen*) (Amegbey 2001; Sheoran *et al.* 2010). Tanah lapisan atas merupakan komoditas yang langka, dan tidak pernah tersimpan dalam jumlah yang cukup besar (Sheoran *et al.* 2010). Finnel (1948) dalam Greb (1985) menjelaskan bahwa tanah lapisan atas yang hilang beberapa sentimeter dapat menurunkan produktivitas sebesar 40% pada tanah subur, sedangkan pada tanah kurang subur sebesar 60%. Munawar (1999) menyatakan bahwa lapisan tanah atas pada lahan bekas penambangan batubara terbuka sangat heterogen dan memiliki berat isi tinggi, total pori rendah serta peka terhadap erosi dan aliran permukaan. Pemberian lapisan tanah atas setebal 10-80 cm pada lahan bekas tambang batubara dapat menyebabkan erosi tanah sebesar 4,97 t ha⁻¹ dengan toleransi kehilangan tanah sebesar 5,3 t ha⁻¹, namun apabila tanpa lapisan atas atau proses reklamasi tanah yang buruk selama 9 bulan menyebabkan erosi tanah sebesar 102 t ha⁻¹ tahun⁻¹ dengan toleransi kehilangan tanah sebesar 51 t ha⁻¹ tahun⁻¹ (Zulkarnain *et al.* 2014).

Kepadatan Tanah

Pada tanah alami yang produktif *Bulk density* (BD) berkisar antara 1,1-1,5 g cm⁻³, sedangkan pada sisa-sisa bahan tambang *overburden* yang berumur 7 tahun memiliki BD cukup tinggi mencapai 1,91 Mg m⁻³, terdapat pada kedalaman efektif perakaran (Maiti dan Ghose 2005). Kepadatan tanah merupakan salah satu faktor pembatas bagi pertumbuhan tanaman pada lahan bekas tambang. Hal ini karena kebanyakan vegetasi

tidak mampu memperpanjang akar efektif melalui BD yang tinggi pada lahan bekas tambang batubara (Sheoran *et al.* 2010). Pada lahan bekas tambang yang memiliki tanah sangat padat ($BD > 1,7 \text{ g cm}^{-3}$), terutama pada kedalaman $< 60 \text{ cm}$ dari kedalaman perakaran efektif, memiliki batuan yang dangkal dan besar-besar, mengakibatkan air tidak cukup tersedia bagi tanaman dan dapat rentan terhadap kekeringan yang berkepanjangan. Hermawan (2011) menunjukkan bahwa tingkat kepadatan tanah pada lahan bekas tambang batubara yang telah direklamasi selama 12 tahun relatif sesuai untuk pertumbuhan tanaman pangan. Tingkat kepadatan tanah bekas tambang tersebut lebih rendah dibandingkan ketika vegetasi reklamasi baru berumur 8 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan vegetasi reklamasi berdampak positif dalam menurunkan kepadatan tanah sehingga sesuai untuk pertumbuhan tanaman pangan. Tindakan perbaikan lahan tetap harus dilakukan ketika lahan bekas tambang dialihfungsikan menjadi lahan pertanian tanaman pangan karena setiap jenis tanaman memiliki respon yang berbeda terhadap kepadatan (Batey 2009).

Kesuburan Tanah

Mineral pirit (FeS_2), pada lahan bekas tambang batubara dioksidasi menjadi asam sulfat dan secara drastis dapat menurunkan pH tanah. Sementara itu karbonat (Ca/MgCO_3) yang melapisi mineral dan batuan cenderung meningkatkan pH tanah karena pelapukan dan larut. Pada lahan bekas tambang yang karbonatnya tidak melapuk menyebabkan akumulasi pirit lebih besar, sehingga pH dapat cepat turun. Pada lahan bekas tambang pH tanah berkisar antara 2,2-3,5. Maiti dan Ghose (2005) melaporkan bahwa pH bervariasi 4,9-5,3 dalam penimbunan bekas tambang batubara dan menunjukkan kemasaman tanah dari timbunan *overburden*. Pada pH kurang dari 5 cenderung tanah mengandung Fe dan ketersediaan logam beracun meningkat seperti nikel, timah dan kadmium (Maiti 2003). Reaksi tanah *tailing* timah tergolong sangat masam sampai masam dengan kisaran pH 2,7-4,75 (Santi 2005; Hanura 2005), sedangkan hasil penelitian Pusat Penelitian Bioteknologi Hutan dan Lingkungan IPB (2002) menunjukkan kisaran pH berkisar 4,7-5,6. *Tailing* timah di Semenanjung Malaysia menunjukan tingkat kemasaman (pH) 5-6 (Mitchell 1957 dalam Ang 1994). Sementara pH tanah yang ideal untuk tanaman *legume*/hijauan dan hortikultura berkisar antara 6,0-7,5 (Gitt dan Dollhopf 1991 dalam Sheoran *et al.* 2010).

Unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor dan kalium umumnya ditemukan sangat minim pada pembuangan *overburden* (Coppin dan Bradshaw 1982; Sheoran *et al.* 2008.). Pada tanah *overburden* ditemukan C-organik berkisar antara 0,35-0,85%, berkorelasi positif dengan tersedia N dan K, dan berkorelasi negatif dengan Fe, Mn, Cu, dan Zn (Maiti dan Ghose 2005). Pada lahan bekas tambang bauksit kesuburan tanah sangat rendah termasuk C dan N (Sembiring 2008). Hal yang sama pada pasir *tailing* timah unsur hara makro N, P, dan K sangat rendah, begitu juga dengan humik *tailing* (Santi 2005; Hanura 2005). Rendahnya kandungan unsur-unsur tersebut disebabkan karena unsur-unsur hara sebagian besar sudah tercuci saat proses pencucian pasir *tailing* timah melalui aliran permukaan. *Tailing* yang berasal dari liat marin mengandung sulfat yang bereaksi sangat masam (pH 2,7-3,5), bersifat toksik dan hara makro (N, P, K, Ca dan Mg) menjadi tidak tersedia bagi tanaman, sehingga tanaman tidak mampu tumbuh dan berproduksi (Subardja 2010). Selain itu pada lahan bekas tambang terakumulasi bahan-bahan pencemar dalam bentuk air asam dan logam berat (Sitorus *et al.* 2008). Kusumastuti (2005) menunjukkan bahwa kandungan logam berat pada *tailing* timah yang berumur satu tahun cukup tinggi yaitu: 3,04 ppm Fe; 15,8 ppm Mn; 1,9 ppm Cu; 6,29 ppm Pb; 0,02 ppm Cd; 0,37 ppm Co; dan 1,43 ppm Cr di pulau Bangka.

Peranan bahan organik dalam tanah sangat penting dalam meningkatkan sifat fisik tanah (struktur tanah, porositas tanah, BD, air tersedia) dan biologi tanah (Gilewska dan Otremba 2000; Haigh 1998). Sehingga apabila bahan limbah bekas tambang yang ditutupi oleh lapisan atas tanah dengan kandungan bahan organik rendah, sangat tidak efektif untuk pertumbuhan tanaman (Haigh 1998). Kandungan bahan organik *tailing* timah sangat rendah berkisar antara 0,1-0,2%, namun dapat meningkat akibat adanya vegetasi yang tumbuh namun memerlukan waktu yang relative lama (Palaniappan 1972 dalam Ang 1994).

Mikroorganisme Tanah

Populasi mikroba tanah merupakan salah satu komponen terpenting dari tanah. Perannya sangat aktif dalam meningkatkan stabilisasi agregat dan memperbaiki porositas tanah, sehingga kondisi tanah mendukung tanaman agar tumbuh normal (Ghose 2005). Aktivitas mikroba dapat menurun, ketika kondisi

tanah mulai terganggu seperti terjadi pada lahan bekas penambangan. Dalam keadaan aktif, mikroba tanah mendukung agregasi tanah stabil, sebaliknya bila aktivitas mikroba menurun terjadi pemadatan dan agregasi tanah yang rendah (Edgerton *et al.* 1995).

Bakteri mempunyai peranan penting dalam proses dekomposisi bahan organik, terutama pada saat tingkat kelembaban yang tinggi. Pada tanah lapisan atas yang hilang dan ditimbun, bakteri akan mati karena kondisi lingkungan yang tidak sesuai. Namun setelah dua tahun bakteri mulai berubah jumlahnya pada permukaan lahan timbunan (Williamson dan Johnson 1991). Nurtjahya *et al.* (2007) menyatakan bahwa kawasan lahan yaitu hutan lindung, kebun karet, dan kebun lada yang kemudian dialihfungsikan menjadi area tambang timah menunjukkan populasi fauna tanah yaitu semut dan colembola maupun spora mikoriza mengalami penurunan. Jumlah spora mikoriza menurun antara 29 – 78%, penurunan jumlah spora mikoriza terendah pada alih fungsi kebun karet menjadi tambang konvensional, yaitu sebesar 29%. Sedangkan alih fungsi hutan menjadi lahan bekas tambang menurunkan jumlah spora mikoriza sebesar 78%.

PENGELOLAAN LANSEKAP LAHAN BEKAS TAMBANG

Pengelolaan Tanah Pucuk

Sisa-sisa batuan/bahan galian eks tambang umumnya ditimbun menyerupai bukit-bukit kecil (Gambar 1). Bentuk lahan timbunan terdiri atas punggung yang relatif datar, lebar bidang datarnya 10-15 m, kelerengan bidang miring atau berupa tampingan dengan kemiringan 10- 20% dan panjang lereng 5-10 m.

Bentuk lahan yang demikian mempunyai bidang dasar yang luas dan semakin ke atas semakin menyempit. Oleh karena itu, pemanfaatan lahan bekas tambang untuk tanaman pangan memerlukan perbaikan lansekap. Bidang datar pada bukit-bukit kecil perlu diperluas, agar mempermudah tataletak penanaman dengan membentuk kemiringan < 5%. Bahan sisa galian bekas tambang umumnya tidak dapat digunakan untuk program rehabilitasi, karena kurang mendukung pelaksanaan revegetasi. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan tanah yang memiliki kandungan hara tanaman yang lebih baik dari *overburden* dan *tailing*. Sisa-sisa bahan tambang yang tercampur dengan tanah lapisan atas (*top soil*) sering digunakan sebagai pelapis permukaan tanah, sehingga tanah tersebut dinamakan tanah pucuk. Meskipun kandungan hara tanah sangat rendah, namun cukup membantu perkecambahan biji melalui pemberian tanah pucuk setebal 50 mm. Penggunaan 100 - 200 mm tanah lapisan atas sangat bermanfaat untuk menutup timbunan yang memiliki kadar garam atau sodium atau juga sisa batuan sulfide (Hao dan Kang 2014). Pengelolaan tanah pucuk dalam perencanaan penggunaan lahan disajikan pada Tabel 1.

Dalam pengelolaan tanah pucuk atau lapisan tanah atas sering dihadapkan pada beberapa kendala, terutama dalam pengangkutan dan penyebaran di permukaan tanah, yang dapat sering mengalami pemadatan dan kerusakan pori tanah. Selain itu lapisan tanah atas cenderung masam, sehingga penggunaan amelioran seperti gipsium atau kapur sangat diperlukan. Dalam beberapa kasus diperlukan penambahan mikro-organisme simbiotik seperti pengikat nitrogen dan mikoriza. Pada areal berlereng pemberian lapisan tanah atas dan sistem penanaman harus sesuai kontur. Dengan cara tugal yang dalam agar penetrasi akar berkembang dan mengurangi benih yang hilang akibat erosi dan aliran permukaan.



Gambar 1. Sisa-sisa bahan galian bekas tambang yang menyerupai bukit-bukit kecil

Figure 1. The left over materials in the mined land in the form of scattered small hills

Tabel 1. Pengelolaan tanah pucuk dalam perencanaan penggunaan lahan

Table 1. Top soil management in land use planning

Pemanfaatan lahan bekas tambang	Pengelolaan tanah pucuk
Tanaman pangan	Tanah pucuk dibutuhkan dengan ketebalan tidak kurang dari 0,5 m, lapisan kompos/humus/bahan organik tidak kurang dari 0,2-0,3 m. Hidrolik konduktiviti harus baik. Keadaan tanah pucuk harus memiliki BD tidak lebih dari 1,5 g cm ⁻³ . Proporsi liat dan pasir dengan perbandingan 1:3 atau 1:2. Porositas tidak kurang dari 40-50%. Kelarutan natrium sulfate and magnesium sulfat tidak boleh lebih dari 5%. Sedangkan natrium oksida tidak boleh lebih dari 0,01% dan memiliki pH 6-8.
Agroforestri/Tanaman keras	Dalam pengembangan agroforestri/tanaman keras dibutuhkan tanah pucuk setebal 0,3 m dan lubang tanam sedalam 1 m. Bahan timbunan bekas tambang harus bebas dari logam berbahaya. Bahan timbunan dibutuhkan setebal 0,4 m.

Sumber : diringkas dari Hao dan Kang (2014)

Pencegahan Erosi dan Aliran Permukaan

Erosi tanah dan aliran permukaan merupakan salah satu dampak negatif terhadap lingkungan akibat kegiatan penambangan terbuka. Menurut Jha dan Kapat (2009), erosi yang terjadi akibat kegiatan penambangan di Indonesia adalah erosi parit, erosi permukaan, erosi alur dan erosi hujan/percik. Pembuatan teras merupakan salah satu alternatif pemecahan dalam mencegah atau mengurangi erosi tanah. Teknik ini merupakan metoda tradisional untuk mengkonservasi tanah dan air. Terasering dalam banyak hal masih dinilai sebagai metode konservasi yang terbaik dan efektif untuk mengurangi erosi tanah (Wheaton dan Monke 2001). Pembuatan teras dilakukan pada areal lahan yang memiliki kemiringan 5-40% (Permentan 2006). Hal ini karena di Indonesia laju erosi pada lahan pertanian dengan lereng 3-30% tergolong tinggi, berkisar antara 60-625 t ha⁻¹ tahun⁻¹, padahal banyak lahan pertanian yang berlereng lebih dari 15%, bahkan lebih dari 100% sehingga erosi tanah tergolong sangat tinggi (Sutrisno dan Heryani 2013). Pembuatan teras harus dilengkapi dengan saluran pembuangan air (SPA) dan terjunan. Hal ini berfungsi untuk pengendalian aliran permukaan dan erosi tanah, sehingga bahan organik yang diberikan tidak hanyut. Teras dapat juga dibuat dalam bentuk guludan, bentuk tangga (bangku) atau dibentuk secara bertahap (dikenal dengan teras kredit) dengan diawali dengan aplikasi teknik konservasi seperti strip rumput, tanaman pagar, atau tumpukan batu, yang disusun mengikuti garis kontur dengan jarak antar baris disesuaikan dengan kemiringan lahan.

Cek Dam merupakan salah satu bentuk teknik konservasi tanah yang dirancang untuk memperlambat atau menghambat sedimen, sehingga sedimen bekas

tambang yang mengalir menjadi kecil. Hal ini karena lahan bekas tambang memiliki dampak negatif terhadap terjadinya erosi parit (Jha dan Kapat 2009). Umumnya pencegahan erosi dengan cek dam dapat dilakukan kombinasi antara cara vegetativ dan sipil teknik. Pencegahan erosi pada saluran pembuangan air dapat mengurangi kecepatan air. Sedimen yang telalu banyak mengendap dan lama dapat mengurangi umur bangunan cek dam.

Revegetasi

Vegetasi memiliki peran penting dalam melindungi permukaan tanah dari erosi dan aliran permukaan. Melalui sistim perakaran yang berkembang dapat menstabilkan tanah dan menghambat proses degradasi lahan. Selain itu vegetasi dapat meningkatkan bahan organik tanah, menciptakan *bulk density* (BD) tanah yang rendah, dan membuat pH tanah yang sesuai serta menciptakan hara yang tersedia bagi tanaman (Mensah 2015). Pemilihan tanaman untuk revegetasi harus dilakukan berdasarkan kemampuan tanaman untuk bertahan hidup dan berproduksi dalam kondisi tanah yang sangat buruk, disisi lain vegetasi yang tumbuh juga harus mampu menstabilkan struktur tanah (Madejon *et al.* 2006). Untuk itu harus dipilih jenis tanaman yang tahan kekeringan dan cepat serta mudah tumbuh, misalnya rumput pakan ternak yang dapat tumbuh pada tanah marjinal seperti *Brachiaria decumbens*, *Panicum maximum* dan *Pennisetum purerium* (Odor). Tanaman yang dipilih juga sebaiknya memiliki kanopi padat, rapat dan memiliki sistem perakaran yang serabut dan dalam, sehingga mampu mencengkram tanah yang bermanfaat menghambat erosi tanah.

Tanaman rumput merupakan tanaman pionir, sehingga sesuai digunakan dalam usaha revegetasi lahan bekas tambang. Dengan perakaran serabut, tanaman dapat memperlambat erosi dan mempunyai kecenderungan membentuk lapisan humus, menstabilkan tanah, dan menghemat air tanah (Sheoran *et al.* 2010).

Penanganan lahan bekas tambang yang efektif juga dapat dilakukan dengan teknologi berbasis vegetasi, seperti sistim pertanaman lorong, strip rumput, dan penanaman tanaman dengan kombinasi perakaran dalam dan dangkal (Mensah 2015). Teknologi ini bermanfaat untuk pencegahan erosi dan longsor pada areal timbunan yang berbentuk bukit pada lahan bekas tambang (Gambar 2), karena tanaman akan tumbuh maksimal dan menghasilkan perakaran yang mampu mencengkram agregat tanah.

Pada areal timbunan yang datar dapat diterapkan penanaman multistrata dengan sistim agroforestri. Sistim ini dapat mendukung peningkatan bahan organik tanah dan memperbaiki struktur tanah serta membuat tanah lebih stabil (Schroth *et al.* 2001; Thakur *et al.* 2005). Sebagai contoh tanaman dengan strata 1 seperti kelapa, durian dan petai; strata 2 seperti cengkeh, kayu manis, pala, nangka, jambu mete; strata 3 seperti pisang, jeruk, nanas, jagung, tanaman obat, rempah-rempah, sedangkan strata 4 seperti rumput vetiver, mukuna, *centrosema* dan legum penutup tanah (Gambar 3).

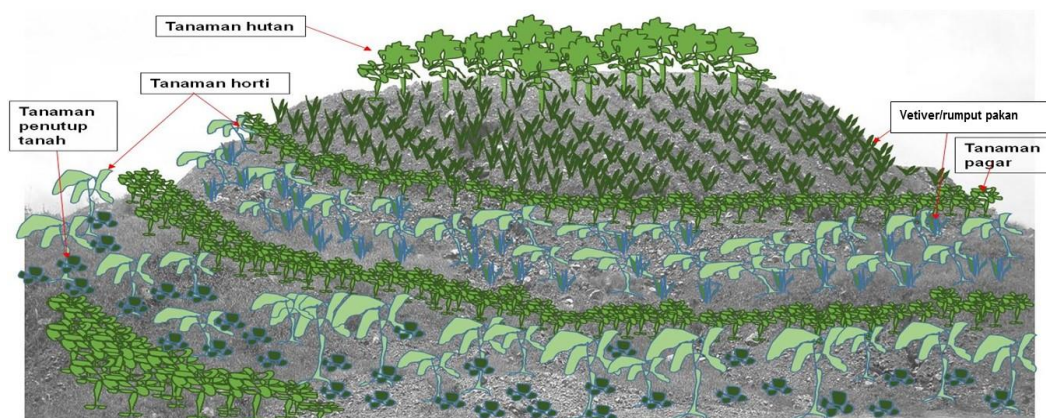
Revegetasi harus dapat meningkatkan kualitas lahan seperti mengurangi erosi dan aliran permukaan, meningkatkan bahan organik tanah, fiksasi nitrogen, meningkatkan penyimpanan dan infiltrasi air serta

dapat meningkatkan aktivitas biologis tanah. Selain itu dapat memberikan nilai tambah bagi lingkungan lokal seperti penyediaan habitat hewan dan pakan ternak, meningkatkan penghasilan dan menjadikan lahan bekas tambang sebagai objek wisata.

SUMBER BAHAN ORGANIK UNTUK PENINGKATAN KESUBURAN TANAH

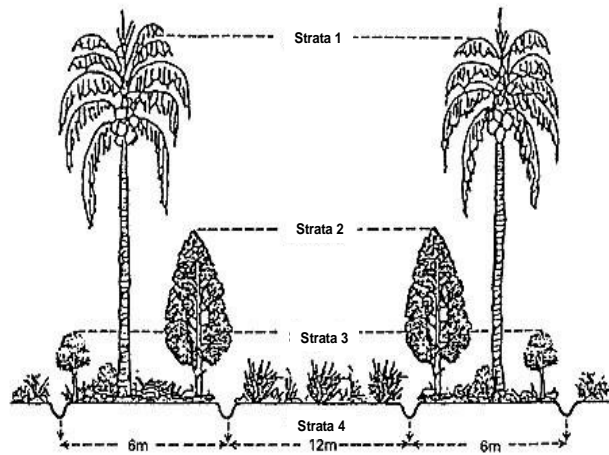
Tanaman Penutup Tanah

Tanaman penutup tanah jenis *leguminosa* sangat efektif dalam penyediaan bahan organik dan meningkatkan kesuburan tanah. Selain itu tanaman tersebut juga mampu mengurangi kecepatan aliran permukaan, sehingga tanah yang terangkut (erosi) dapat berkurang. Smets *et al.* (2008) menyatakan tanaman penutup tanah lebih efektif mengurangi erosi tanah dibandingkan dengan penutupan batuan. Tanaman penutup tanah yang dipilih mampu tumbuh dengan cepat, menghasilkan hijauan relatif banyak sehingga dapat berperan sebagai sumber bahan organik *in-situ*, yang akan berdampak terhadap percepatan peningkatan kesuburan tanah. Tanaman penutup tanah juga harus resisten terhadap hama dan penyakit, serta toleran terhadap kondisi lahan bekas tambang (Mensah 2015; Sheoran *et al.* 2010). Tanaman penutup tanah yang sudah dikenal memenuhi persyaratan tersebut adalah *Dolichus lablab*, *Crotalaris sp.*, *Canavaliasp.*, *Vigna sp.*, *Tephrosia sp.*, *Dioscroea sp.*, *Ipomea batatas*, *Mucuna sp.*, *A. Pinto.*, *Centrosema sp.*, *Calopogonium sp.*



Gambar 2. Ilustrasi pencegahan erosi dan aliran permukaan di areal bekas tambang dengan teknologi konservasi vegetatif

Figure 2. Illustration of soil erosion and runoff control on mined land with vegetative soil conservation technology



Sumber: Adiningsih dan Karama (1992), dimodifikasi

Gambar 3. Ilustrasi sistim strata dalam penanganan lahan bekas tambang

Figure 3. Illustration of strata system in mined land management

Tanaman Pagar

Sistim tanaman pagar merupakan sumber bahan organik *in-situ* yang efisien diterapkan pada wilayah tropis (Jordan 2004). Tanaman pagar dalam bentuk semak atau pohon dapat dipangkas secara periodik dan disebar dipermukaan tanah atau diolah bersamaan dengan pengolahan tanah. Hal ini dapat menambah karbon dan unsur hara tanah. Tanaman pagar juga merupakan bagian dari sistem agroforestry untuk produksi pangan. *Leucaena leucocephala*, *gamal*, *Cassia siamea* dan *Sesbania grandiflora* yang digunakan sebagai tanaman pagar dapat berperan sebagai tanaman sumber hara yang efisien. Sistem ini dapat membantu untuk pengembangan kesuburan pada tanah marginal (Basak *et al.* 2011). Pada lahan berlereng, tanaman pagar ditanaman sesuai kontur, dengan jarak antar barisan sesuai kemiringan lahan, semakin miring jaraknya semakin rapat.

Rotasi Tanaman

Rotasi tanaman merupakan salah satu metoda yang mampu meningkatkan bahan organik, memperbaiki stuktur tanah dan meningkatkan kedalaman perakaran serta meningkatkan hara tanah (Sheoran *et al.* 2010). Selain itu rotasi tanaman dapat menghambat erosi tanah, sehingga permasalahan tanah yang hanyut oleh aliran permukaan dapat diatasi. Pada wilayah yang sangat rentan terhadap erosi seperti lahan bekas tambang, pengolahan tanah minimum dapat dilengkapi dengan metode rotasi tanaman, agar

kehilangan tanah dapat dikurangi (Unger dan McCalla 1980).

Penggunaan beberapa spesies berbeda dalam rotasi tanaman memungkinkan untuk meningkatkan bahan organik tanah. Rotasi tanaman padi-padi-padi memiliki kadar P-tersedia lebih tinggi dibandingkan dengan legume-padi-padi, namun produktivitas padi lebih tinggi pada rotasi tanaman legume-padi-padi (Padmini *et al.* 2008). Dengan meningkatnya bahan organik tanah maka terjadi juga perbaikan sifat fisik tanah diantaranya terjadi peningkatan infiltrasi, retensi air dan aktifitas mikroorganisme (Muddarisna dan Prijono 2014).

PEMULIHAN LAHAN BEKAS TAMBANG MELALUI PEMANFAATAN SUMBERDAYA LOKAL (*IN-SITU*)

Pemanfaatan sumberdaya lokal (*in-situ*) menjadi sangat penting untuk dilakukan dalam usaha pemulihan atau reklamasi lahan bekas tambang. Investasi yang diperlukan untuk pemulihan lahan bekas tambang tergolong tinggi. Pendekatan pemanfaatan sumberdaya lokal yang tersedia secara *in-situ*, misalnya sebagai sumber bahan organik dan bahan pembenah tanah, merupakan salah satu opsi untuk menekan biaya reklamasi. Sumberdaya lokal yang dapat dikelola dan digunakan dalam proses reklamasi lahan bekas tambang diantaranya adalah kompos dari kotoran sapi, jerami, rumput lokal, dan tumbuhan air; biochar dari

pupuk kandang, sekam padi, ranting kayu dan serbuk gergaji; serta pembenah tanah lainnya seperti lumpur sungai, abu batubara. Bahan-bahan tersebut dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas lahan bekas tambang, akibat dari ketersediaan tanah lapisan atas yang sangat terbatas.

Pembenah Tanah

Pembenah tanah atau *soil conditioner* merupakan salah satu komponen alternatif yang dapat memperbaiki media tumbuh tanaman dan memperbaiki kualitas lahan bekas tambang. Namun hal terpenting bahwa pembenah tanah harus potensial memperbaiki sifat fisik, kimia dan mikrobiologi tanah (Sheoran *et al.* 2010). Beberapa jenis pembenah tanah yang telah digunakan pada lahan bekas tambang antara lain kapur, dolomit, lumpur sungai, *fly-ash*, dan *biochar*. Send dan Kumar (2012) menerangkan bahwa penggunaan *fly-ash* bersamaan dengan pupuk organik mampu berfungsi sebagai pembenah tanah dan meningkatkan hasil kacang hijau pada lahan bekas tambang batubara. Sementara itu lumpur sungai yang dicampur dengan lapisan tanah atas sangat potensial digunakan sebagai bahan pembenah tanah, karena dapat memperbaiki sifat kimia tanah dan meningkatkan biomas *Calopogonium mucunoides* (Ibrahim *et al.* 2015). Pada lahan bekas tambang timah, penggunaan dolomit atau kapur 1-2 t ha⁻¹ dicampur dengan 10 ton/ha pupuk kandang mampu memperbaiki kualitas lahan bekas tambang timah yang sebelumnya telah diberi tanah pucuk 1.000 t ha⁻¹ (Asmarhansyah dan Subardja 2013). Dari penelitian Pratiwi *et al.* (2012) menunjukkan media tanaman dengan perbandingan 20% bahan organik; 20% *top soil*; 5% kapur; 1% NPK dan 54% *tailing* bekas tambang timah (pasir kuarsa) memberikan pertumbuhan tanaman kehutanan ekaliptus (*Eucalyptus urophylla*) dan jabon (*Anthocephalus cadamba*) cukup bagus. Biochar berpotensi untuk memperbaiki tanah rusak akibat pertambangan serta untuk fitoremediasi yang ramah lingkungan (Kumar 2013). Beberapa bahan biochar memiliki pH tinggi dan dapat berperan sebagai alternatif pengganti pengapuran, untuk meningkatkan pH tanah (Chan *et al.* 2007) dan membantu pertumbuhan vegetasi. Bahan biochar dari limbah peternakan ayam (poultry litter) mampu berfungsi sebagai pembenah tanah dan memperbaiki kualitas lahan bekas tambang batubara. Bahan pembenah tanah tersebut, selain mampu meningkatkan kandungan karbon organik, juga meningkatkan ketersediaan N, P,

K, Ca, Mg dan S, serta kapasitas tukar kation (Buyantogtokh dan Guo 2013).

Mulsa Pencegah Erosi

Aplikasi mulsa organik pada permukaan tanah ditujukan untuk mencegah erosi dan mempertahankan kelembaban, serta untuk perkecambahan benih. Mulsa sangat bermanfaat untuk mendukung proses revegetasi lahan bekas tambang. Ada beberapa bahan organik yang telah terbukti bermanfaat sebagai mulsa seperti rumput kering atau jerami, serpihan kayu, dan serat kayu (Gambar 4). Penggunaan tikar atau selimut dari mulsa organik yang dirancang untuk stabilisasi tanah pada lahan berlereng yang peka erosi. Tikar dibuat dari anyaman bahan jerami padi, alang-alang dan sabut kelapa yang sifatnya mudah melapuk. Tikar ini juga bermanfaat sebagai tempat perkecambahan benih (US EPA 2006).

Pupuk dan Kompos

Peranan pupuk dan kompos sangat penting dalam rehabilitasi lahan bekas tambang. Pupuk dan kompos dapat berfungsi sebagai pengganti nutrisi yang hilang akibat proses kegiatan tambang. Sasaran utama ingin dicapai pasca kegiatan tambang adalah mengembalikan ekosistem awal mendekati sebelum kegiatan tambang. Untuk mencapai sasaran ini menjadikan proses rehabilitasi lahan membutuhkan input yang tinggi agar kualitas lahan bekas tambang menjadi meningkat. Pupuk dan kompos berfungsi sebagai sumber hara makro dan mikro. Pupuk an-organik juga sering digunakan dalam memperbaiki kualitas lahan bekas tambang, Karena lebih mudah didapat dan hasilnya lebih mudah dan lebih cepat terlihat.

Kompos dapat dijadikan lapisan atas sebagai media tumbuh tanaman dan menanggulangi keterbatasan unsur hara untuk pertumbuhan tanaman (Dere *et al.* 2012). Pemanfaatan sisa tanam, serbuk gergaji, serasah tanam, rumput lokal dan pupuk kandang serta tumbuhan air dapat dijadikan sumber pembuatan kompos. Limbah tersebut merupakan alternatif sumberdaya lokal yang dapat dimanfaatkan sehingga dapat lebih menghemat biaya rehabilitasi lahan bekas tambang. Berbeda dengan pupuk kandang, bahan-bahan seperti serasah sisa tanaman, dan serbuk gergaji memerlukan waktu untuk proses pengomposan (dekomposisi) yang relatif lebih lama, agar hara yang dikandungnya dapat tersedia bagi tanaman.



Gambar 4. Bahan mulsa dari serpihan dan serat kayu

Figure 4. Mulch materials from wood chips and fibers

Dengan pola integrasi tanaman ternak di lahan bekas tambang timah, kotoran yang dihasilkan dapat diolah menjadi kompos dan dimanfaatkan untuk tanaman. Sedangkan limbah tanaman dapat digunakan sebagai sumber pakan sapi. Menurut Hidayat *et al.* (2013), penanaman rumpun gajah pada satu hektar lahan bekas tambang timah dapat memenuhi kebutuhan pakan 13 ekor sapi per tahun. Kotoran sapi atau pupuk organik yang dihasilkan dari ternak tersebut adalah 26,89 t tahun⁻¹ atau dapat memperbaiki 1,35 ha lahan bekas tambang timah.

PENUTUP

Dengan eksploitasi lahan yang intensif menyebabkan lansekap lahan bekas tambang menjadi tidak beraturan. Tanah lapisan atas menjadi sulit tersedia, kepadatan tanah meningkat, kesuburan tanah dan aktivitas mikroba menjadi rendah. Pengelolaan lansekap pada lahan bekas tambang tidak terlepas dari tindakan konservasi tanah diantaranya dalam menanggulangi erosi dan aliran permukaan yang merupakan salah satu dampak negatif dari proses

penambangan. Salah satu pendekatan dalam pengelolaan lansekap adalah meningkatkan kualitas tanah secara ramah lingkungan dan berkelanjutan, termasuk pencegahan degradasi lahan dan membangun sumber bahan organik *in-situ*, melalui rotasi tanaman, sistem pengolahan tanah, penggunaan mulsa tanaman, tanaman penutup tanah dan pertanaman berlereng. Pembenh tanah yang digunakan harus potential memperbaiki sifat fisik, kimia dan mikrobiologi tanah, serta merupakan sumberdaya lokal, untuk menekan biaya pemulihan lahan bekas tambang yang sangat mahal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, S.J. dan A. Syarifuddin Karama, 1992. A sustainable Upland Farming System for Indonesia, Food and Fertilizer Technology Center. www.agnet.org.ind. Diakses tanggal 13 Januari 2010.
- Amegbey N. 2001. Lecture notes on Environmental Engineering in Mining. University of science and Technology, School of Mines, Tarkwa, Ghana. 117-118; 120-122; 124; 127-128; 135; 139.

- Ang L.H. 1994. Problems and prospects of afforestation on sandy tin tailings in Peninsular Malaysia. *J. of Tropical Forest Science* 7(1):87-105.
- Asmarhansyah dan D., Subardja. 2013. Perbaikan kualitas lahan bekas tambang timah Bangka Tengah melalui penggunaan tanah mineral dan pupuk organik. *Pros. Semnas Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi*. Bogor, 29-30 Juni 2012. 369-384. Badan Litbang Pertanian.
- Basak, S., M.A. Mondol, M.K. Ibrahim, M.O. Sharif, dan M.A. Wadud 2011 Performance of crops during hedge establishment period of alley cropping, *J. Agrofor. Environ.* 5 (1):55-58, 2011 ISSN 1995-6983.
- Batey T. 2009. Soil compaction and soil management-A review. *Article in Soil Use and Management* 25(4): 335-345.
- Buyantogtokh, U. dan Guo, M. 2013. Reclamation of Abandoned mine land through poultry litter biochar amendment. Poster paper was presented at the 2013 National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation, Laramie, WY Reclamation Across Industries, June 1-6, 2013. R.I. Barnhisel (Ed.) Published by ASMR, 3134 Montavesta Rd., Lexington, KY 40502.
- Chan, K. Y., Zwieten, L. V., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S., 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian J. Soil Res.* 45, 629-634.
- Conesa, H.M., Garcia, G., Faz, A., dan Arnaldos, R. 2007b. Dynamics of metal tolerant plant communities' development in mine tailings from the Cartagena-La Union Mining District (SE Spain) and their interest for further revegetation purposes. *Chemosphere* 68, 1180-1185.
- Coppin, N.J. dan Bradshaw, A. D. 1982. Quarry reclamation: the establishment of vegetation in quarries and open pit non-metal mines. *Mining Journal Book*, London.
- Dere, A.L., Stehouwer, R.C., Aboukila E., dan McDonald, K.E. 2012. Nutrient Leaching and Soil Retention in Mined Land Reclaimed with Stabilized Manure. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 41 No. 6, p. 2001-2008.
- Edgerton, D.L., Harris, J. A., Birch, P., dan Bullock, P. 1995. Linear relationship between aggregate stability and microbial biomass in three restored soils. *Soil Biology and Biochemistry* 27, 1499-1501.
- Ghose, M.K., 2004. Effect of opencast mining on soil fertility. *Journal of Scientific and Industrial Research*. Vol 63. December 2004, pp: 1006-1009
- Ghose, M.K. 2005. Soil conservation for rehabilitation and revegetation of mine-degraded land. *TIDEE –TERI Information Digest on Energy and Environment* 4(2), 137-150.
- Gilewska, M. dan K. Otremba 2000. Physical features of dump soils originating in the process of reclamation (in Polish with English abstract). *Rocz. AR Poz. CCC XVII. Roln.* 56: 357-365.
- Greb, B.W. dan D.E. Smika. 1985. Topsoil Removal on Chemical and Physical Properties. Pp 316-327. In *Soil Erosion and Conservation* (Swaffy, Moldenhouer, and Andrew Lo, eds). Soil Conservation Society of America 7515, Northeast Ankeny Road, Ankeny, Iowa, USA.
- Haigh, M.J. 1988. Towards soil quality standards for reclaimed surface coal-mined land. *Advances in Geo Ecology* 31, 775-779, Catana Verlag GMBH, Reiskirche Germany.
- Hanura 2005. Perbaikan sifat kimia bahan tailing asal lahan pasca penambangan timah yang diberi kompos dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman kedelai. Tesis. Program Studi Ilmu Tanaman Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya (*unpublished*).
- Hao Bing-yuan dan Kang Li-xun. 2014. Review Article Mine Land Reclamation and Eco-Reconstruction in Shanxi Province I: Mine Land Reclamation Model, *The Scientific World Journal* Volume 2014, Article ID 483862, 9 pages.
- Harris, J.P., Birch, P., dan Short, K.C. 1989. Changes in the microbial community and physio-chemical characteristics of top soils stockpiled during opencast mining. *Soil Use Management* 5, 161-168.
- Hermawan B. 2011. Peningkatan Kualitas Lahan Bekas Tambang melalui Revegetasi dan Kesesuaiannya sebagai Lahan Pertanian Tanaman Pangan, *Prosiding Seminar Nasional Budidaya Pertanian; Urgensi dan Strategi Pengendalian Alih Fungsi Lahan Pertanian*, hal: 60-70.
- Hidayat, Z., Asmarhansyah dan Risfaheri. 2013. Perbaikan lahan bekas tambang timah melalui pengembangan ternak sapi. *Prosiding Ekspose dan Seminar Nasional Pertanian Ramah Lingkungan*. Makassar, 19-21 Juni 2013. hal. 209-217.
- Ibrahim, Soemarno, Syekhfani dan Sugeng Prijono. 2015, River Sludge Potency as Soil Conditioner Material on Post- Mining Critical Land *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)*. Volume 9, Issue 3 Ver. I (Mar. 2015), PP 59-65 www.iosrjournals.org.
- Jha, V. C., & Kapat, S. (2009). Rill and Gully Erosion Risk of Lateritic Terrain in South-Western Birbhum District, West Bengal, India. *Soc. Nat.*, 21(2), 141-158. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-45132009000200010>.
- Jordan, C.F. 2004. Organic farming and agroforestry: Alleycropping for mulch production for organic farms of southeastern United States. *Agroforestry Systems*. ISSN: 0167-4366 (online) 07-2004, Volume 61-62, Issue 1-3, pp 79-90.
- Kumar, B.M., 2013. Mining waste contaminated lands: an uphill battle for improving crop productivity. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. Volume 1, Number 1 (October 2013): 43-50.

- Kundu, N.K., dan Ghose, M.K. 1997. Soil profile Characteristic in Rajmahal Coalfield area. Indian Journal of Soil and Water Conservation 25 (1), 28-32.
- Madejon, E., de Mora, A.P., Felipe, E., Burgos, P dan Cabrera, F. 2006. Soil amendmets reduce trace element solubility in a contaminated soil and allow regrowth of natural vegetation. Environment Pollution 139, 40-52.
- Maiti, S.K. 2003. Handbook of Methods in Environmental Studies Vol.2: Air, Noise, Soil and Overburden Analysis, ABD Publishers.
- Maiti S.K. dan Ghose MK 2005. Ecological restoration of acidic coal mine overburden dumps-an Indian case study. Land Contamination and Reclamation. 13(4): 361-369. <http://dx.doi.org/10.2462/09670513.637>.
- Mensah, A.K. 2015. Role of revegetation in restoring fertility of degraded mined soils in Ghana: A review, Int. J. Biodivers. Conserv. Vol. 7 (2): 57-80.
- Muddarisna, dan S. Prijono. 2014. The potential of Arachis pintoi biomass to improve quality of soil continuously used for cassava cropping. Journal of. Degraded and Mining Lands Management. ISSN: 2339-076X, Volume 1, Number 2 (January 2014): 87-92.
- Munawar. 1999. Coal-mine Soil Reclamation and Its Possible Agricultural Uses in Bengkulu. Pros. Sem. Toward Sustain-able Agriculture in Humid Tropics Facing 21st Century 107-124.
- Nurtjahya, E., Setiadi D, Guhardja E, Muhadiono, Setiadi, Y. 2007. Populasi Collembola di Lahan Revegetasi Tailing Timah di Pulau Bangka, Biodiversitas ISSN: 1412-033X Volume 8, Nomor 4, Hal: 309-313.
- Padmini Oktavia S, Tohari, Djoko Prajitno dan Abdul Syukur 2008. Ilmu Pertanian Vol. 15 No. 1, 2008: 59 – 68.
- Permentan. 2006. Peraturan Menteri Pertanian Nomor: 47/Permentan/OT.140/10/2006 tentang Pedoman Umum Budidaya Pertanian Pada Lahan Pegunungan.
- Pratiwi, E. Santoso, dan M. Turjaman. 2012. Penentuan dosis bahan pembenah tanah (amelioran) untuk perbaikan tanah dari tailing pasir kuarsa sebagai media tumbuh tanaman hutan. Jurnal Penelitian Hutan dan konservasi alam. Vol. 9 No.2: 163-174.
- Santi, R. 2005. Pertumbuhan Nilam (Pogostemon cablin Benth) pada sandy tailing asal lahan pasca penambangan timah yang diberi kompos dan tanah kupasan (overburden). Tesis. Program Studi Ilmu Tanaman Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya (*unpublished*).
- Schroth, G., J. Lehmann, M.R.L. Rodrigues, E. Barros dan J.L.V. Macêdo. 2001. Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. Agroforestry Systems 53:85102.
- Sembiring, 2008. Sifat Kimia dan Fisik Tanah Pada Areal Bekas Tambang Bauksit d Pulau Bintan Riau. Info Hutan 5(2):123-134.
- Sen, S., dan Kumar V. 2012. The Effect of Different Soil Amendmets on Growth of Mung bean (*Vigna radiata* L.) in Coal Mine Overburden Dumps, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website: www.ijetae.com Journal, Volume 2, Issue 12.
- Sheoran, A.S., Sheoran, V., dan Poonia, P. 2008. Rehabilitation of mine degraded land by metallophytes Mining Engineers Journal 10(3):11-16.
- Sheoran, V., Sheoran, A.S., dan P. Poonia, 2010. Soil Reclamation of Abandoned Mine L and by revegetation: A Review, International Journal of Soil, Sediment and Water: Vol. 3: Iss. 2, Article 13.1-20.
- Smets, T., Poesen, J., Bochet, E., 2008. Impact of plot length on the effectiveness of soil-surface covers in reducing runoff and soil loss by water. Prog. Phys. Geogr. 32, 654–677.
- Subardja, D. A. Kasno, Sutono dan H. Sosiawan. (2010). Identifikasi dan karakterisasi lahan bekas tambang timah untuk pencetakan sawah baru di Perlang, Bangka Tengah. Hlm. 109-122. Dalam Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor, 30 November - 1 Desember 2010.
- Sutrisno, N. dan N. Heryani, 2013, Teknologi konservasi tanah dan air untuk mencegah degradasi lahan pertanian berlereng, J. Litbang Pert. 32(3):122-130.
- Thakur, P.S., Vaishnu Dutt, dan Sandeep Sehgal and Raj Kumar. 2005. Diversification and improving productivity of mountain farming systems through agroforestry practice in Northwestern India. AFTA Conference Proceedings.
- Tordoff, G.M., Baker, A.J.M., dan Willis, A.J. 2000 . Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. Chemosphere 41, 219-228.
- Unger, P.W., McCalla TM. 1980. "Conservation Tillage Systems". Advances in Agronomy 33:2-53.
- US-EPA, 1995. Human health and Environment Damages From Mining Area Mineral Processing Waste, Office of Solid Waste.
- US EPA. 2006. Compost Blanket: Construction Site Storm Water Runoff Control. National Menu of Best Management Practices for Construction Sites, NPDES Phase II.
- Wheaton, R.Z. dan Monke, E.J., 2001. Terracing as a 'Best Management Practice' for controlling erosion and protecting water quality. Agricultural Engineering 114, Purdue University. [online] URL: <http://www.agcom.purdue.edu/AgCom/Pubs/AE/AE-114.html>.
- Williamson, J.C., dan Johnson, D.B. 1991. Microbiology of soils at opencast sites: II. Population transformations occurring following land restoration and the influence of rye grass/fertilizer amendmets. Journal Soil Science 42, 9-16.
- Wong, M.H. 2003. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. Chemosphere 50,775-780.

Zulkarnain, B., Joy dan P., Tuhpawana, dan I., Prawira, 2014. Soil erosion assessment of the post-coal mining site in Kutai Kartanegara District, East Kalimantan Province, *Internat. J. Sci. Eng.* 7(2):130-136.